

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **220901**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **387575**

(51) Int.Cl.
G01N 21/21 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **23.03.2009**

(54) **Sposób wyznaczania optycznych własności niedichroicznych ośrodków dwójłomnych i układ polaryskopu eliptycznego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
27.09.2010 BUP 20/10

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
29.01.2016 WUP 01/16

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
PIOTR KURZYNOWSKI, Wrocław, PL
WŁADYSŁAW ARTUR WOŹNIAK, Oława, PL
SŁAWOMIR DROBCZYŃSKI, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:
rzec. pat. Regina Kozłowska

PL 220901 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania optycznych własności niedichroicznych ośrodków dwójłomnych i układ polaryskopu eliptycznego, przeznaczony do badania dwójłomności kryształów, polimerów, ciekłych kryształów, bazujący na fourierowskich metodach analizy obrazu generowanego w układzie przestrzennego polaryskopu eliptycznego.

Sposób pomiaru dwójłomności materiału i układ do pomiaru dwójłomności materiału znany jest z polskiego zgłoszenia patentowego nr P-380223. Sposób polega na tym, że tworzy się monochromatyczną płaską falę świetlną, z użyciem źródła światła wraz z kolimatorem, biegnącą wzdłuż osi optycznej układu, którą to falę polaryzuje się liniowo w polaryzatorze, po czym falę świetlną moduluje się zmienną różnicą faz, wnoszoną przez pierwszy pryzmat Wollastona. Zmodulowaną falę kieruje się na płytkę płaskorównoległą wykonaną z badanego materiału dwójłomnego, po czym falę świetlną moduluje się ponownie zmienną różnicą faz wnoszoną przez drugi pryzmat Wollastona, przy czym kierunki obu modulacji fali świetlnej zgodne są z kątami azymutów pryzmatów i wynoszą odpowiednio $\alpha_1 = 45^\circ$ i $\alpha_2 = 0^\circ$. Następnie wytwarza się pole interferencyjne w wyniku przejścia fali świetlnej przez analizator, po czym rejestruje się kamerą siatkę w postaci wirów optycznych, stanowiących izolowane punkty o zerowej wartości natężenia światła, o nieokreślonej fazie fali świetlnej w tych punktach. Układ ma zestawione wzdłuż wiązki światła: źródło światła, kolimator, polaryzator ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_p = 0^\circ$, pierwszy pryzmat Wollastona ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_1 = 45^\circ$, drugi pryzmat Wollastona ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_2 = 0^\circ$, analizator (A) ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_A = 45^\circ$ oraz kamerę podłączoną do komputera, przy czym pomiędzy pierwszym pryzmatem Wollastona i drugim pryzmatem Wollastona jest umieszczona płytkę płaskorównoległą, wykonana z badanego materiału dwójłomnego. Podobny sposób generacji wirów optycznych i układ polaryskopowy do generacji wirów optycznych znany jest z polskiego zgłoszenia patentowego nr P-380222.

Znany jest z polskiego zgłoszenia patentowego nr P.385371 układ polaryskopu eliptycznego do pomiaru optycznych własności ośrodków dwójłomnych. Układ ma zestawione wzdłuż osi optycznej: moduł generujący światło o zmiennym stanie polaryzacji w przekroju poprzecznym fali świetlnej oraz moduł analizujący stan polaryzacji światła. Moduł generujący światło składa się z polaryzatora liniowego ustawionego pod kątem azymutu -45° , pierwszego pryzmatu liniowego ustawionego pod kątem azymutu 0° , złożonego z dwóch klinów wykonanych z kryształu liniowo dwójłomnego, przy czym oś optyczna pierwszego kryształu jest zorientowana poziomo a drugiego pionowo, pierwszego pryzmatu kołowego ustawionego pod kątem azymutu 90° , złożonego z dwóch klinów wykonanych z kryształów kołowo dwójłomnych prawo- i lewoskrętnego. Moduł analizujący stan polaryzacji światła jest zbudowany podobnie i składa się z drugiego pryzmatu kołowego ustawionego pod kątem azymutu 90° i zbudowanego z dwóch klinów wykonanych z kryształów kołowo dwójłomnych lewo- i prawoskrętnego, drugiego pryzmatu liniowego ustawionego pod kątem azymutu 180° i zbudowanego z dwóch klinów wykonanych z kryształu liniowo dwójłomnego, przy czym oś optyczna pierwszego kryształu zorientowana jest pionowo, a drugiego poziomo, analizatora liniowego ustawionego pod kątem azymutu $+45^\circ$. Za częścią optyczną układu znajduje się kamera rejestrująca rozkład natężenia światła. Klipy tworzące każdy z pryzmatów mają ten sam kąt łamiący i złożone tworzą prostopadłościanny, których powierzchnie wejściowe i wyjściowe są prostopadłe do osi optycznej układu. Materiał i kąt łamiący klinów, z którego są wykonane pryzmaty są tak dobrane, że różnica faz wnoszona przez te pryzmaty wynosi w środku danego pryzmatu 0° , natomiast na jego brzegach $\pm 90^\circ$ dla pryzmatów liniowych, a $\pm 180^\circ$ dla pryzmatów kołowych.

Również z polskiego opisu patentowego Pat.210025 znany jest sposób wyznaczania map rozkładu przesunięcia fazowego ośrodków eliptycznie dwójłomnych, niedichroicznych oraz układ do wyznaczania map rozkładu przesunięcia fazowego ośrodków eliptycznie dwójłomnych, niedichroicznych, który polega na tym, że rejestruje się rozkład natężenia światła i oblicza się dwuwymiarową transformację Fouriera rozkładu natężenia światła, następnie filtruje się pierwszy rząd w dziedzinie częstości przestrzennych, poprzez przesunięcie go do początku układu współrzędnych o wartość częstości nośnej i oblicza się odwrotne przekształcenie Fouriera, dla trzech kolejnych wiązek światła. Pierwszą wiązkę światła monochromatycznego polaryzuje się liniowo, zmienia się azymut polaryzacji światła o kąt 45° , generuje się periodyczną zmianę polaryzacji światła i kieruje się na badany obiekt, po czym w wiązce światła, która przeszła przez badany obiekt, generuje się periodyczną zmianę polaryzacji światła, zmienia się azymut polaryzacji o kąt równy 0° . Drugą wiązkę podobnie polaryzuje się liniowo, zmienia się azymut polaryzacji światła o kąt 45° , generuje się periodyczną zmianę polaryzacji światła

i kieruje się na badany obiekt, po czym w wiązce światła, która przeszła przez badany obiekt, generuje się periodyczną zmianę polaryzacji światła, zmienia się azymut polaryzacji o kąt równy 45° . Natomiast trzecią wiązkę polaryzuje się liniowo, zmienia się azymut polaryzacji światła o kąt 0° i kieruje się na badany obiekt, po czym w wiązce światła, która przeszła przez badany obiekt, generuje się periodyczną zmianę polaryzacji światła, zmienia się azymut polaryzacji o kąt równy 45° . Z wyliczonych transformat Fouriera wyznacza się kąt azymutu pierwszego wektora własnego, przesunięcie fazowe i kąt eliptyczności dla badanego ośrodka eliptycznie dwójłomnego, niedichroicznego. Układ charakteryzuje się tym, że wiązka światła monochromatycznego ze źródła światła jest kierowana poprzez polaryzator liniowy, pierwszy modulator ciekłokrystaliczny i pierwszy pryzmat Wollastona na badany obiekt, a następnie po przejściu przez badany obiekt, kierowana jest poprzez drugi pryzmat Wollastona, drugi modulator ciekłokrystaliczny i analizator do kamery. Jednocześnie azymut pierwszego wektora własnego ustawiony względem osi odciętych przyjętego układu współrzędnych wynosi 0° dla polaryzatora liniowego, pryzmatów Wollastona i analizatora.

Z kolei z patentu Pat. 211472 znany jest układ polaryskopu eliptycznego do pomiaru optycznych własności ośrodków dwójłomnych, który charakteryzuje się tym, że wzdłuż osi optycznej układu ma zestawiony moduł generujący światło o zmiennym stanie polaryzacji w przekroju poprzecznym fali świetlnej oraz moduł analizujący stan polaryzacji światła, pomiędzy którymi umieszczana jest próbka z badanego materiału, eliptycznie dwójłomnego, natomiast za oboma modułami umieszczona jest kamera.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że monochromatyczną falę płaską w module generującym światło formuje się w falę świetlną o lokalnie zmodulowanym stanie polaryzacji: zmiennym kącie azymutu, przy czym zmiana kąta azymutu wynosi wielokrotność przedziału od 0° do 180° wzdłuż osi pionowej układu oraz o zmiennym kącie eliptyczności, przy czym zmiana kąta eliptyczności wynosi wielokrotność przedziału od -45° do $+45^\circ$ wzdłuż jego osi poziomej. Tak uformowaną wiązkę kieruje się na badany ośrodek dwójłomny, w którym zmienia się stan polaryzacji wiązki w wyniku różnicy faz wprowadzanej przez ten ośrodek. Po czym w module analizującym stan polaryzacji światła przetwarza się zmienioną wiązkę, przy czym zmienne kąty azymutu i eliptyczności przetwarza się w zmienny rozkład natężenia światła, który rejestruje się kamerą podłączoną do komputera, za pomocą którego wiązkę analizuje się kolejno poprzez obliczenie numerycznej dwuwymiarowej transformaty Fouriera otrzymanego rozkładu natężenia światła, wybranie obszarów transformaty, które zawierają informację o badanym ośrodku dwójłomnym, a następnie przesunięcie układu współrzędnych do centralnych punktów wybranych obszarów transformaty i wykonanie transformat odwrotnych, a na ich podstawie oblicza się następujące przestrzenne rozkłady parametrów niejednorodnego ośrodka dwójłomnego: kąty azymutu, kąty eliptyczności oraz różnice faz wprowadzane przez badany ośrodek dwójłomny pomiędzy jego falami własnymi.

Istota układu według wynalazku polega na tym, że kąty łamiące klinów tworzących pryzmaty są tak dobrane, że różnica faz wnoszona przez pryzmaty wynosi w środku danego pryzmatu 0° , natomiast na jego brzegach jest wielokrotnie większa od 360° .

Korzystnie, pryzmaty kołowe wnoszą tę samą różnicę faz, podczas gdy drugi pryzmat liniowy wnosi różnicę faz dwukrotnie większą, niż pierwszy pryzmat liniowy.

Zaletą układu jest brak jakichkolwiek elementów ruchomych oraz elementów o czasowo modulowanych właściwościach. Układ ten jest stabilny mechanicznie i może być wykonany w postaci jednolitego modułu o niewielkich stosunkowo wymiarach, określonych przez rozmiary elementu rejestrującego w postaci kamery CCD i rozmiary badanych próbek dwójłomnych.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w przykładzie realizacji i na rysunku, który przedstawia schemat blokowy polaryskopu eliptycznego do pomiaru optycznych własności ośrodków dwójłomnych.

P r z y k ł a d 1

Sposób wyznaczania optycznych własności niedichroicznych ośrodków dwójłomnych polega na tym, że monochromatyczną falę płaską w module generującym światło PL_1C_1 formuje się w falę świetlną o lokalnie zmodulowanym stanie polaryzacji, zmiennym kącie azymutu, przy czym zmiana kąta azymutu wynosi wielokrotność przedziału od 0° do 180° wzdłuż osi pionowej układu oraz o zmiennym kącie eliptyczności, przy czym zmiana kąta eliptyczności wynosi wielokrotność przedziału od -45° do $+45^\circ$ wzdłuż jego osi poziomej. Tak uformowaną wiązkę kieruje się na badany ośrodek dwójłomny M, w którym zmienia się stan polaryzacji wiązki w wyniku różnicy faz wprowadzanej przez ten ośrodek M. Po czym w module analizującym stan polaryzacji C_2L_2A światła przetwarza się zmienioną wiązkę, przy czym zmienne kąty azymutu i eliptyczności przetwarza się w wiązkę o zmiennym

rozkładzie natężenia światła. Następnie wiązkę o zmiennym rozkładzie natężenia światła rejestruje się kamerą CCD podłączoną do komputera K, za pomocą którego wiązkę analizuje się kolejno poprzez obliczenie numerycznej dwuwymiarowej transformaty Fouriera otrzymanego rozkładu natężenia światła, wybranie obszarów transformaty, które zawierają informację o badanym ośrodku dwójłomnym M, a następnie przesunięcie układu współrzędnych do centralnych punktów wybranych obszarów transformaty i wykonanie transformaty odwrotnej. Na podstawie transformaty odwrotnej oblicza się następujące parametry ośrodka dwójłomnego M: kąt azymutu, kąt eliptyczności, różnicę faz wprowadzanych przez badany ośrodek dwójłomny M pomiędzy jego falami własnymi. Ze względu na wprowadzoną wielokrotną modulację kątów azymutu i eliptyczności możliwe jest wyznaczenie przestrzennych rozkładów parametrów niejednorodnych ośrodków dwójłomnych.

Przykład 2

Układ polaryskopu eliptycznego do pomiaru optycznych własności ośrodków dwójłomnych ma zestawione wzdłuż osi optycznej: moduł generujący światło PL_1C_1 zmiennym stanie polaryzacji w przekroju poprzecznym fali świetlnej oraz moduł analizujący stan polaryzacji światła C_2L_2A . Moduł generujący światło PL_1C_1 składa się z polaryzatora liniowego P ustawionego pod kątem azymutu -45° , pierwszego pryzmatu liniowego L_1 ustawionego pod kątem azymutu 0° , złożonego z dwóch klinów wykonanych z kryształu liniowo dwójłomnego, przy czym oś optyczna pierwszego kryształu jest zorientowana poziomo a drugiego pionowo, pierwszego pryzmatu kołowego C_1 ustawionego pod kątem azymutu 90° , złożonego z dwóch klinów wykonanych z kryształów kołowo dwójłomnych prawo- i lewoskrętnego. Moduł analizujący stan polaryzacji światła C_2L_2A jest zbudowany podobnie i składa się z drugiego pryzmatu kołowego C_2 ustawionego pod kątem azymutu 90° zbudowanego z dwóch klinów wykonanych z kryształów kołowo dwójłomnych lewo- i prawoskrętnego, drugiego pryzmatu liniowego L_2 ustawionego pod kątem azymutu 180° i zbudowanego z dwóch klinów wykonanych z kryształu liniowo dwójłomnego, przy czym oś optyczna pierwszego kryształu zorientowana jest pionowo, a drugiego poziomo, analizatora liniowego A ustawionego pod kątem azymutu $+45^\circ$. Za częścią optyczną układu znajduje się kamera CCD rejestrująca rozkład natężenia światła. Klipy tworzące każdy z pryzmatów L_1 , C_1 , C_2 , L_2 mają ten sam kąt łamiący (w każdym pryzmacie osobno) i złożone tworzą prostopadłościany, których powierzchnie wejściowe i wyjściowe są prostopadłe do osi optycznej układu. Materiał i kąt łamiący klinów, z którego są wykonane pryzmaty L_1 , C_1 , C_2 , L_2 , są tak dobrane, że różnica faz wnoszona przez wszystkie pryzmaty L_1 , C_1 , C_2 , L_2 wynosi w środku układu 0° , natomiast na brzegach pryzmatów L_1 , C_1 , C_2 , L_2 jest wielokrotnością 360° , przy czym pryzmaty kołowe C_1 i C_2 wnoszą tę samą różnicę faz, podczas gdy pryzmat liniowy L_2 wnosi różnicę faz dwukrotnie większą, niż pryzmat liniowy L_1 .

Zasada działania układu jest następująca: oświetlenie modułu generującego światło PL_1C_1 monochromatyczną falą płaską skutkuje powstaniem na wyjściu tego modułu PL_1C_1 fali świetlnej o lokalnie zmodulowanym stanie polaryzacji: zmiennym kącie azymutu wzdłuż osi pionowej układu i zmiennym kącie eliptyczności wzdłuż jego osi poziomej. Tak zmodulowana fala świetlna pada na próbkę z materiału niedichroicznego, eliptycznie dwójłomnego, umieszczoną pomiędzy modułami PL_1C_1 i C_2L_2A . Po przejściu tej fali przez badany ośrodek dwójłomny jej stan polaryzacji zmieni się w wyniku różnicy faz, wprowadzanej przez ten ośrodek. Tak zmodulowana fala świetlna pada z kolei na moduł analizujący stan polaryzacji światła C_2L_2A , który generuje w płaszczyźnie obserwacji kamery CCD zmienny rozkład natężenia światła. Obraz z kamery kieruje się do komputera, w którym analizuje się otrzymany rozkład natężenia.

Zastrzeżenie patentowe

Sposób wyznaczania optycznych własności niedichroicznych ośrodków dwójłomnych polegający na tym, że monochromatyczną falą płaską w module generującym światło formuje się w falę świetlną o lokalnie zmodulowanym stanie polaryzacji, zmiennym kącie azymutu zawartym w przedziale od 0° do 180° wzdłuż osi pionowej układu i zmiennym kącie eliptyczności zawartym w przedziale od -45° do $+45^\circ$ wzdłuż jego osi poziomej, po czym w module analizującym przetwarza się stan polaryzacji światła na zmienny rozkład natężenia światła, po czym następuje wyznaczenie badanego stanu polaryzacji światła poprzez obliczenie numerycznej dwuwymiarowej transformaty Fouriera otrzymanego rozkładu natężenia światła, wybranie obszarów transformaty, które zawierają informację o badanym ośrodku dwójłomnym, a następnie przesunięcie układu współrzędnych do centralnych punktów

wybranych obszarów transformaty i wykonanie transformat odwrotnych, **znamienny tym**, że formuje się w falę świetlną o lokalnie zmodulowanym stanie polaryzacji, przy czym zmiana kąta azymutu wynosi wielokrotność przedziału od 0° do 180° , a zmiana kąta eliptyczności wynosi wielokrotność przedziału od -45° do $+45^\circ$, tak uformowaną wiązkę kieruje się na badany ośrodek dwójłomny (M), w którym zmienia się stan polaryzacji wiązki w wyniku różnicy faz wprowadzanej przez ten ośrodek (M), po czym w module analizującym stan polaryzacji światła (C_2L_2A) przetwarza się zmienioną wiązkę, przy czym zmienne kąty azymutu i eliptyczności przetwarza się w zmienny rozkład natężenia światła i rejestruje kamerą (CCD) podłączoną do komputera (K), za pomocą którego wiązkę analizuje się i oblicza się następujące przestrzenne rozkłady parametrów niejednorodnego ośrodka dwójłomnego: kąty azymutu, kąty eliptyczności oraz różnice faz wprowadzane przez badany ośrodek dwójłomny pomiędzy jego falami własnymi.

Rysunek

